Journal of Agroecology
Vol. 11, No.2, Summer 2019, p. 579-599

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد 11، شماره 2، تابستان 1398، ص 599-579

ارزیابی مکفی بودن بارش‌های مؤثر در زراعت دیم به‌منظور توسعه کشت غلات پاییزه در اراضی شهرستان‌های آق‌قلا، کلاله و گنبدکاووس (استان گلستان) با استفاده از تحلیل‌های مکانی GIS

شیوا فرهادیان عزیزی[1]، حسین کاظمی[2*] و افشین سلطانی [3]

تاریخ دریافت: 1395/10/07
تاریخ پذیرش: 1396/09/25

فرهادیان عزیزی،ش.، کاظمی،ح.، و سلطانی، ا. 1398. ارزیابی مکفی بودن بارش‌های مؤثر در زراعت دیم به‌منظور توسعه کشت غلات پاییزه در اراضی شهرستان‌های آق‌قلا، کلاله و گنبدکاووس (استان گلستان) با استفاده از تحلیل‌های مکانی GIS. بوم‌شناسی کشاورزی. 11 (2):599-579.

چکیده

در استان گلستان با توجه به وجود دیم‌زارهای گسترده، مقدار و توزیع مکانی و زمانی بارش، از اهمیت زیادی برخوردار است. در این مطالعه، با استفاده از تحلیل‌های مکانی سامانه اطلاعات جغرافیایی، تغییرات مکانی و زمانی و نیز کفایت متغیرهای بارش در محدوده اراضی کشاورزی شهرستان-های آق‌قلا، کلاله و گنبدکاووس جهت توسعه زراعت دیم غلات پاییزه مورد ارزیابی قرار گرفت. این پژوهش در سال 1394 در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان اجرا گردید. ابتدا نقشه‌های موضوعی انواع متغیرهای بارش مؤثر در زراعت دیم شامل بارش سالانه، بارش پاییزه، بارش بهاره، بارش آبان ماه و بارش اردیبهشت ماه، با استفاده از روش‌های متعدد درون‌یابی مانند کریجینگ معمولی، وزن‌دهی فاصله معکوس (IDW) و توابع پایه شعاعی (RBF) در محیط GIS نسخه 10 تهیه و طبقه‌بندی شدند. از معیارهای میانگین مطلق خطا (MAE)، میانگین انحراف خطا (MBE) و خطای برآورد (RMSE)، جهت ارزیابی این روش‌ها استفاده شد. در این پژوهش از داده‌های 10 ایستگاه هم‌دیدی و 77 ایستگاه باران‌سنجی مستقر در استان گلستان استفاده گردید. نتایج نشان داد که روش کریجینگ با مدل کروی بهترین الگو برای تخمین بارش پاییزه و اردیبهشت ماه و هم‌چنین روش توابع پایه شعاعی مدل چند ربعی، بهترین الگو برای تخمین بارش‌های سالانه، بهاره و آبان ماه در اراضی کشاورزی شهرستان‌های آق‌قلا، کلاله و گنبدکاووس می‌باشد. روش وزن‌دهی فاصله معکوس توان 1 و روش توابع پایه شعاعی مدل نواری کم ضخامت، نامناسب‌ترین الگو جهت تخمین انواع بارش شناخته شد. نتایج توزیع مکانی بارش نشان داد از سمت شمال به جنوب مناطق موردمطالعه، بر میزان متغیرهای بارش افزوده می‌شود. بر این اساس، برخی از مناطق شمالی شهرستان‌های آق‌قلا و گنبدکاووس ازنظر بارش بهاره و بارش اردیبهشت ماه جهت توسعه زراعت دیم دارای محدودیت می‌باشند. درمجموع در بین سه شهرستان موردبررسی، شهرستان کلاله بیش‌ترین میزان و بهترین توزیع مکانی انواع متغیرهای بارش را جهت توسعه زراعت دیم دارا بود.

واژه‌های کلیدی: بارش، سامانه اطلاعات جغرافیایی، کریجینگ، نیم‌تغییرنما، وزن‌دهی فاصله معکوس

مقدمه

متوسط بارندگی ایران که از نظر اقلیمی در منطقه‌ای خشک و نیمه‌خشک قرار گرفته است، حدود 225 میلی‌متر در سال است که همین بارندگی اندک نیز با توزیع مکانی نامناسبی باریده می‌شود، به‌شکلی که 50 درصد آن در 24 درصد مساحت کشور روی می‌دهد (Kamkar & Mahdavi Damghani, 2008). کشت و کار گیاهان زراعی مختلف در هر منطقه براساس میزان نزولات جوی می‌تواند به مدیریت بهتر زراعت این محصولات و رسیدن به تولید پایدار با کم-

1، 2 و 3- به‌ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد کشاورزی اکولوژیک، دانشیار و استاد گروه زراعت دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
(*- نویسنده مسئول: Email: hkazemi@gau.ac.ir)
Doi:10.22067/jag.v11i2.61365

ترین نوسان کمک نماید.

علی‌رغم پیشرفت‌های قابل توجهی که در سال‌های اخیر در خصوص پیش‌بینی و اندازه‌گیری بارش ایجاد شده است، هنوز تعیین دقیق میزان بارش در یک منطقه امری مشکل می‌باشد و این مسأله در مناطق خشک و نیمه‌خشک به دلیل پراکندگی ایستگاه‌ها و تغییرات زیاد بارش، اهمیت در نظر گرفتن موقعیت نقاط را در برآوردها دو چندان می‌سازد. از سوی دیگر به دلایل اقتصادی و اجرایی، محدودیت قابل توجهی جهت ایجاد تعداد ایستگاه‌های کافی در هر حوضه آبریز وجود دارد. به همین خاطر امروزه روش‌های مختلف درون‌یابی جهت تخمین متغیرهای مکانی در یک منطقه، با توجه به همبستگی و موقعیت و آرایش داده‌ها، از اهمیت زیادی برخوردار هستند. روش‌های مختلف زمین آماری بسته به نوع متغیر، دقت متفاوتی را نشان می‌دهند. با توجه به امکان استفاده از این روش‌ها در سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)[1] و استفاده روز افزون از این سامانه‌ها، انتخاب روش مناسب توسط استفاده کننده اهمیت زیادی دارد (Marofi et al., 2009).

برتری زمین آمار نسبت به شاخه کلاسیک آن، جامعیت آن است، به‌طوری‌که می‌توان آمار کلاسیک را حالت خاصی از آن دانست. اساس این شاخه از آمار بر تعریف و توسعه روابط متغیر ناحیه‌ای بنا شده است. تخمین‌های زمین‌آماری تحت عنوان کریجینگ نامیده می‌شود و روش‌های گوناگونی دارد. روش‌های مختلف زمین‌آمار بسته به نوع متغیر، دقت متفاوتی دارند. زمین آمار به بررسی متغیرهایی می‌پردازد که دارای ساختار مکانی هستند و یا به عبارتی بین مقادیر، فاصله و جهت قرارگرفتن مقادیر ارتباطی مکانی وجود دارد (Hasani Pak, 2007). ابزاری که همبستگی مکانی بین مقادیر یک متغیر یک ناحیه را بررسی می‌نماید، نیم‌تغییرنما نام دارد که نمودار واریانس بر مبنای فاصله بین نمونه هاست (Mohamadi et al., 2006). هدف اصلی از برقرار کردن تابع نیم‌تغییرنما آن است که بتوان ساختار تغییرپذیری متغیر را نسبت به فاصله مکانی شناسایی نمود (Hasani Pak, 2007).

ذبیحی و همکاران (Zabihi et al., 2011) توزیع مکانی بارندگی سالانه در استان قم را با استفاده از دو روش کریجینگ و وزن‌دهی فاصله معکوس با توان‌های یک الی سه ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که در محدوده مورد مطالعه، روش کریجینگ مناسب‌ترین روش تخمین بارندگی سالانه است. مهدی‌زاده و همکاران (Mahdizadeh et al., 2006) برای پهنه‌بندی بارش سالانه در حوضه آبریز دریاچه ارومیه از روش‌های زمین آماری کریجینگ، وزن‌دهی فاصله معکوس و روش اسپلاین استفاده کردند. آن‌ها در بررسی‌های خود نشان دادند که روش‌های زمین‌آماری نسبت به روش‌های آماری کلاسیک نتایج بهتری ارائه می‌دهند. قنبرپور (Ghanbar Pour, 2005) با مقایسه روش‌های تحلیل مکانی دما و بارندگی در حوضه آبخیز تالش به این نتیجه رسید که روش وزن‌دهی فاصله معکوس با توان‌های 2 و 3 مناسب‌ترین روش تحلیل مکانی دمای سالانه و ماهانه و روش‌های کریجینگ ساده و وزن‌دهی فاصله معکوس با توان 1 جهت تحلیل مکانی مقادیر بارندگی سالانه و ماهانه مناسب می‌باشند. میرموسوی و همکاران (Mirmosavi et al., 2010) روش‌های کریجینگ معمولی، ساده و عام را برای برآورد توزیع بارندگی استان اصفهان مورد مقایسه قرار دادند. نتایج این بررسی نشان داد که روش کریجینگ معمولی با مدل کروی مناسب‌ترین روش برای درون‌یابی مقادیر بارندگی سالانه در منطقه است. در مطالعه‌ای از روش‌های زمین‌آماری برای بررسی توزیع مکانی بارش در استان همدان استفاده شد. نتایج نشان داد که در خصوص مقادیر میانگین بارندگی، روش کریجینگ ساده با مدل نمایی، در مورد مقادیر حداقل بارش سالانه، روش‌های کریجینگ معمولی و عام با مدل گوسی و در مورد مقادیر حداکثر بارندگی، روش کریجینگ ساده با مدل کروی بهترین نتایج را ارائه دادند (Marofi et al., 2009).

برای تحلیل مکانی بارندگی حوضه مطالعاتی سقز، سه روش وزن‌دهی فاصله معکوس، اسپلاین و کریجینگ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که روش کریجینگ نسبت به سایر روش‌ها، برآورد مطلوب‌تری از توزیع مکانی بارش ارائه می‌دهد (Mobaraki et al., 2010). در همین راستا در تحقیقی ژانگ و سرینیواسان (Zhang & Srinivasan, 2009) با بررسی روش‌های کریجینگ و وزن‌دهی فاصله معکوس، نشان دادند که روش کریجینگ با روند خارجی، دارای کم‌ترین خطا در بین روش‌های درون‌یابی است. هارگرو (Hargrove, 2001) از روش اسپلاین برای برآورد بارندگی در سویس استفاده کرد، برآوردها با استفاده از متغیر ثانویه ارتفاع و بدون آن انجام گردید که هر دو روش نتایج مشابهی بدست آمد. تاپسوبا و همکاران (Tapsoba et al., 2008) از روش کریجینگ معمولی با

1- Geographical information system

روند خارجی به منظور برآورد توزیع مکانی آب معادل برف حوضه آبریز رودخانه گاتینیو منطقه کبک کانادا استفاده نمودند. آن‌ها نتیجه گرفتند که روش کریجینگ معمولی با روند خارجی نسبت به کریجینگ معمولی، روش مناسب‌تری جهت برآورد توزیع مکانی آب معادل برف می‌باشد. شوجی و کیتارا (Shoji & Kitaura, 2006) به پهنه‌بندی بارندگی ساعتی، ماهانه و سالانه نواحی کوهستانی چاپو و منطقه دشت کانتو در مرکز ژاپن پرداختند. در مطالعه دیگری بویتریت و همکاران (Buytaert et al., 2006) مقدار بارندگی را در 14 ایستگاه باران‌سنجی در رشته کوه غربی کوه‌های آند اکوادور برآورد کردند. در این مطالعه، کریجینگ نتایجی بهتر را نسبت به تیسن ارائه کرد. مقایسه روش‌های مختلف میان‌یابی بارندگی در منطقه شمال غرب مکزیکو توسط دیسکرویکس و همکاران (Descroix et al., 2001) انجام شد. آن‌ها روش‌های کریجینگ و کوکریجینگ را به عنوان روش‌های بهتر و معمول‌تر برای میان‌یابی و بازسازی داده‌ها معرفی کردند. گوارتز (Goovaerts, 2000) با استفاده از روش‌های وزن‌دهی فاصله معکوس، رگرسیون خطی با ارتفاع، تیسن و کریجینگ معمولی و ساده به میان‌یابی دمای سالانه و بارندگی منطقه‌ای به وسعت 5000 کیلومتر مربع از کشور پرتقال پرداخت، نتایج ایشان بیان‌گر مناسب بودن روش کریجینگ ساده نسبت به سایر روش‌های مذکور است.

نتایج ارزیابی برای پهنه‌بندی زراعی- بوم شناختی بخشی از اراضی قزوین برای کشت گندم با استفاده از RS و GIS، نشان داد که از میان متغیرهای اقلیم، خاک و توپوگرافی، به‌طور کلی اقلیم محدودیت زیادی برای رشد گندم ایجاد نمی‌کند و کلاس تناسب اقلیم، خیلی مناسب (S_1) می‌باشد (Sarmadian & Taati, 2015). مطالعه تأثیر اقلیم بر طول مراحل رشد و نیاز آبی گندم و جو در دشت بیرجند نشان داد که در آینده متوسط بارش سالیانه اندکی بیش‌تر خواهد شد. با وجود بیش‌تر شدن تبخیر و تعرق گیاه مرجع، به دلیل کاشت زودتر گندم و جو و کوتاه شدن دوره رشد آن‌ها، نیاز آبی محصولات در آینده بین 19/5 درصد (گندم) تا 22/5 درصد (جو) کم‌تر خواهد شد. از سوی دیگر، عملکرد گندم نیز به علت کوتاه‌تر شدن طول دوره رشد محصول تحت تأثیر تغییر اقلیم حدود 30 درصد کاهش خواهد یافت (Rahmani et al., 2016).

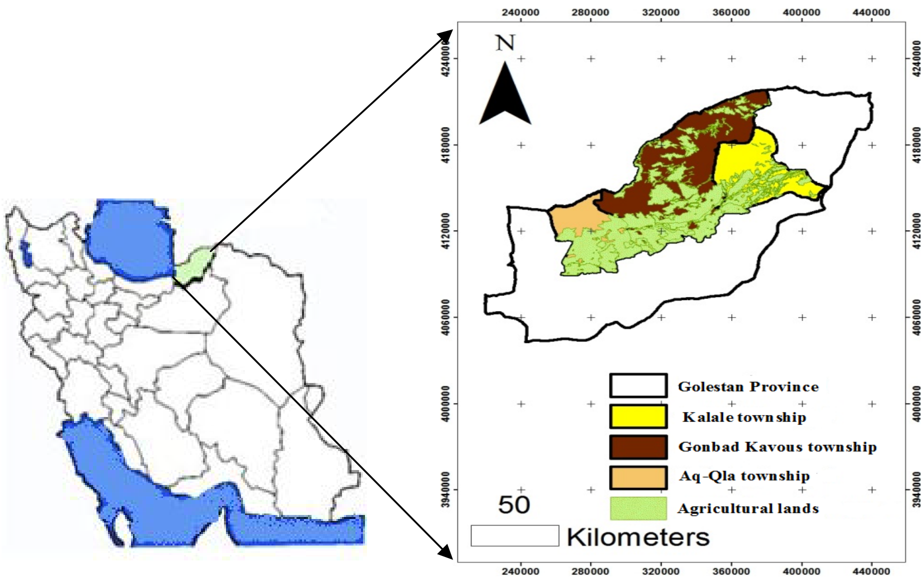
به‌طور کلی حداقل مقدار بارش برای کشت دیم، حدود 250 تا 300 میلی‌متر است. در زراعت دیم علاوه بر مجموع بارندگی سالانه، متغیر دیگری که از اهمیت بسزایی برخوردار می‌باشد، توزیع بارش در طول دوره رشد است. وجود رطوبت کافی در مرحله سبزینگی برای رشد و استقرار گیاه بسیار ضروری به‌نظر می‌رسد. در استان گلستان با توجه به وجود اقلیم‌های متفاوت و دیم‌زارهای گسترده، مقدار و توزیع مکانی و زمانی و کفایت بارش از اهمیت و جایگاه ویژه‌ای برخوردار است، به‌طوری که در مناطق جنوبی و دامنه های شمالی رشته کوه البرز، میزان نزولات جوی زیاد و در مناطق شمالی تا حد بسیار کم مشاهده می‌شود. سطح زیرکشت محصولات کشاورزی دیم بخصوص غلات دیم در استان گلستان 278985 هکتار می‌باشد که شهرستان‌های آق‌قلا، کلاله و گنبدکاووس با 176725 هکتار از قطب‌های مهم تولید کننده غلات دیم بخصوص گندم و جو دیم در استان گلستان به شمار می‌روند (Agricultural Jihad Organization of Golestan, 2013). از آن‌جایی که متغیرهای آب و هوایی بویژه بارش نقش بسزایی در تولید محصولات دیم دارند و بیش‌ترین خسارات وارده به اراضی گندم و جو استان گلستان مربوط به مناطق شمالی از جمله آق قلا، گنبدکاووس و کلاله می‌باشد، از این رو هدف از انجام تحقیق حاضر، بررسی تغییرات مکانی و زمانی بارش در اراضی کشاورزی شهرستان‌های آق‌قلا، کلاله و گنبدکاووس به عنوان یکی از مهم‌ترین مراکز تولید غلات دیم پاییزه در استان گلستان می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه موردمطالعه

منطقه موردمطالعه در این پژوهش شامل اراضی کشاورزی شهرستان‌های آق‌قلا، کلاله و گنبدکاووس در استان گلستان می‌باشد. شهرستان آق‌قلا بین 54 درجه و 14/2 دقیقه تا 54 درجه و 51 دقیقه طول شرقی و 36 درجه و 55/3 دقیقه تا 37 درجه و 29/6 دقیقه عرض شمالی در شمال استان واقع شده است. این شهرستان مساحتی معادل 1763 کیلومتر مربع دارد که از شمال به کشور ترکمنستان، از جنوب به شهرستان‌های گرگان و علی‌آبادکتول، از شرق به شهرستان گنبدکاووس و از غرب به شهرستان بندرترکمن محدود می‌شود. شهرستان کلاله با وسعت 4962 کیلومتر مربع و از نظر مختصات جغرافیایی بین 54 درجه و 18/8 دقیقه تا 56 درجه و 21/4 دقیقه طول شرقی و 37 درجه و 19/6 دقیقه تا 38 درجه و 7/6 دقیقه عرض شمالی در گستره شمال شرقی استان گلستان واقع شده است. از شمال و غرب با شهرستان گنبدکاووس، از جنوب با شهرستان

گالیکش و استان خراسان شمالی و از شرق با شهرستان مراوه تپه همسایه می‌باشد. همچنین شهرستان گنبدکاووس بین 54 درجه و 31/7 دقیقه تا 55 درجه و 39/1 دقیقه طول شرقی و 37 درجه و 3/6 دقیقه تا 38 درجه و 6/3 دقیقه عرض شمالی در قسمت شمالی و مرکزی استان واقع شده است. این شهرستان مساحتی معادل کیلومتر مربع 5071 دارد که از شمال به کشور ترکمنستان، از جنوب به شهرستان‌های رامیان، آزادشهر و مینودشت، از شرق به شهرستان‌های کلاله و مراوه تپه و از غرب به شهرستان آق‌قلا محدود می‌شود (شکل 1). شهرستان‌های آق‌قلا، کلاله و گنبدکاووس از نظر تولید محصولات کشاورزی دیم مثل گندم، جو و دانه‌های روغنی دارای اهمیت قابل توجهی در سطح کشور می‌باشند. این پژوهش در سال 1394 در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان اجرا گردید.



شکل 1- محدوده اراضی کشاورزی شهرستان‌های آق‌قلا، کلاله و گنبدکاووس و موقعیت آن‌ها در استان گلستان و کشور (براساس سیستم مختصات UTM)

Fig. 1- Boundry of Agricultural lands in Aq-Qala, Kalale and Gonbad Kavous townships and their position in the Golestan province and country (Based on the UTM cordinate system)

داده‌های بارش

در این تحقیق از آمار و اطلاعات مربوط به 10 ایستگاه هم‌دیدی و 77 ایستگاه باران‌سنجی وزارت نیرو و سازمان هواشناسی استان گلستان در دوره آماری 41 ساله (طی سال‌های 1342-1392) استفاده گردید. در شکل 2 موقعیت و پراکنش مکانی ایستگاه‌های مذکور نشان داده شده است. در این پژوهش از اطلاعات بارش سالانه، پاییزه، بهاره، آبان ماه و اردیبهشت ماه این ایستگاه‌ها استفاده شد.

روش‌های درون‌یابی

در این تحقیق روش‌های مختلف درون‌یابی شامل کلاسیک و زمین‌آماری مانند کریجینگ معمولی، وزن‌دهی فاصله معکوس[1] (IDW) و توابع پایه شعاعی[2] (RBF) مورد استفاده قرار گرفت. در مورد روش کریجینگ معمولی از مدل‌های کروی، نمایی و گوسی استفاده گردید. هم‌چنین برای روش تابع پایه شعاعی، مدل‌های چندربعی، چندربعی معکوس و نواری کم ضخامت و برای روش وزن دهی فاصله معکوس توان‌های 1، 2 و 3 بکار برده شد.

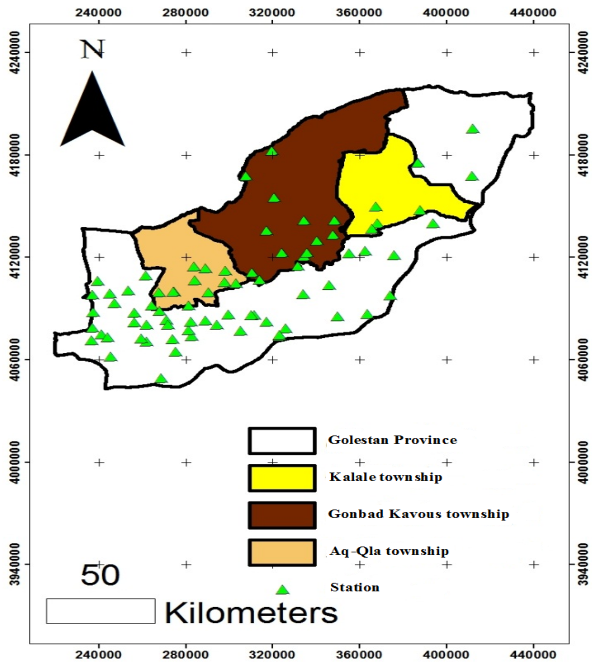
روش‌های زمین‌آماری

کریجینگ

کریجینگ یک روش برآورد زمین‌آماری است که بر پایه

1- Inverse Distance Weighting
2- Radial Basis Function

میانگین متحرک وزن‌دار استوار است. این روش بهترین برآورد کننده خطی نا اریب می‌باشد (Mohamadi, 2006).



شکل 2- موقعیت و پراکنش مکانی ایستگاه‌های هواشناسی مورد استفاده در استان گلستان (براساس سیستم مختصات UTM)

Fig. 2- Location and spatial distribution of meteorological stations in Golestan province (based on the UTM cordinate system)

شرط نااریب بودن در سایر روش‌های تخمین، نظیر روش چند جمله‌ای و وزن‌دهی فاصله معکوس نیز اعمال می‌شود، ولی ویژگی کریجینگ آن است که در عین نا اریب بودن، واریانس تخمین نیز در کم‌ترین مقدار می‌باشد. بنابراین کریجینگ همراه هر تخمین، مقدار خطای آن را نیز می‌دهد که با استفاده از این ویژگی منحصر به فرد آن می‌توان قسمت‌های واجد خطای زیاد که برای کاهش خطا به داده‌های بیش‌تری نیاز دارند را مشخص‌نمود (Hasani Pak, 2007). این برآورد کننده به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$Z^*(x)=\sum_{i=1}^{n}\lambda_i z(x_i)$$

معادله (1)

در این رابطه، Z*(xi): تخمین مقدار متغیر Z در نقطه x و λi: وزن آماری اختصاص یافته به مقادیرZ در نقطه xi است. شرط استفاده از این تخمین‌گر آن است که متغیر Z توزیع نرمال داشته باشد. در صورتی که متغیر مورد نظر توزیع نرمال نداشته باشد باید از کریجینگ غیرخطی استفاده نمود یا با استفاده از روش‌های تبدیل داده‌ها توزیع متغیر مورد نظر را تبدیل به نرمال نمود (Hasani Pak, 2007; Mohamadi, 2006).

تابع پایه شعاعی

از جمله روش‌های درون‌یابی است که در آن سطح تخمین از مقادیر مشاهده‌ای عبور می‌کند. از خصوصیات این روش که حالتی از شبکه عصبی مصنوعی می‌باشد، این است که مقادیر بیش‌تر از حداکثر مشاهده‌ای و یا کم‌تر از حداقل مشاهده‌ای در سطح تخمین وجود دارد. روش تابع پایه شعاعی براساس پنج تابع مختلف درون‌یابی داده‌ها را انجام می‌دهد که هسته اصلی توابع، مجموع مقادیر مربعات (h^2+R^2) است که به ترتیب R عامل هموار کننده و h ترسیم ناهمسانگرد مرتبط با فاصله نقاط هستند (Carlson & Foley, 1991).

وزن‌دهی فاصله معکوس

در این روش برای هر کدام از نقاط اندازه‌گیری‌شده، براساس فاصله بین آن نقطه تا موقعیت نقطه مجهول وزن مشخصی در نظر گرفته می‌شود. سپس این اوزان توسط توان وزن‌دهی کنترل می‌شود،

به‌طوری که توان‌های بزرگتر اثر نقاط دورتر از نقطه مورد برآورد را کاهش داده و توان‌های کوچک‌تر وزن‌ها را به طور یکنواخت‌تری بین نقاط هم‌جوار توزیع می‌کنند. البته باید توجه داشت که این روش بدون توجه به موقعیت و آرایش نقاط، فقط فاصله آن‌ها را در نظر می‌گیرد، یعنی نقاطی که دارای فاصله یکسانی از نقطه برآورد هستند، دارای وزن یکسانی می باشند (Mahdian, 2006). مقدار عامل وزنی با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\lambda i=\frac{D_i^{-a}}{\sum_{i=1}^{n} D_i^{-a}}$$
معادله (2)

در این رابطه λ i وزن نقطه i ام، Di فاصله نقطه i ام تا نقطه مجهول و α معادل توان وزن‌دهی می‌باشد.

تحلیل نیم‌تغییر نما

در این پژوهش از تابع نیم‌تغییرنما جهت نشان دادن تغییرات یک متغیر با در نظر گرفتن فاصله استفاده شد که رابطه آن به صورت زیر است:

$$\gamma(h)=\frac{1}{2N(h)}\sum_{i=1}^{N(h)}\left[Z(x_i)-Z(x_i+h)\right]^2$$
معادله (3)

که در آن، Y (h): مقدار نیم‌تغییرنما در فاصله h، Z(xi+h) و Z(xi) مقدار متغیر در نقاط (xi+h)، xi و N(h): تعداد جفت نمونه‌های بکار رفته به ازای هر فاصله h می‌باشند. در این رابطه مقدار نیم‌تغییرنما وابسته به فاصله بین مقادیر یک متغیر ناحیه‌ای در دو نقطه است. اگر این مقدار وابسته به جهت نیز باشد، نیم‌تغییرنمای ناهمسانگرد و در غیر این صورت همسان‌گرد نامیده می‌شود (Kazemi et al., 2012). در این پژوهش از مدل‌های کروی، نمایی و گوسی برای برازش نیم‌تغییرنما استفاده شد.

معیار اعتبار سنجی

در این تحقیق از روش اعتبارسنجی ارزیابی متقابل[1] برای برازش صحت تخمین روش‌های میان‌یابی استفاده شد. در نهایت با توجه به مقادیر مشاهده شده و برآورد شده، دقت هر روش با توجه به معیارهای آماری میانگین مطلق خطا (MAE)، میانگین انحراف خطا (MBE) و خطای برآورد ریشه دوم میانگین مربعات خطا (RMSE) محاسبه گردید. مقدار این معیارها با استفاده از روابط زیر بدست آمد (Kazemi et al., 2012):

میانگین مطلق خطا (MAE):

$$MAE=\frac{\sum_{i=1}^{N}\left|Z^*(x_i)-Z(x_i)\right|}{n}$$
معادله (4)

میانگین انحراف خطا (MBE):

$$MBE=\frac{\sum_{i=1}^{N}\left(Z^*(x_i)-Z(x_i)\right)}{n}$$
معادله (5)

ریشه دوم میانگین مربعات خطا (RMSE):

$$RMSE=\sqrt{\frac{1}{N}\sum_{K=1}^{N}\left(Z(x_i)-Z^*(x_i)\right)^2}$$
معادله (6)

در این معادلات، (Z*) Xi: مقدار برآورد شده در نقطه Xi، Z (Xi): مقدار اندازه‌گیری شده در نقطه Xi و N: تعداد نقاط می‌باشد. صحت مدل با MAE تعیین می‌شود که مقدار صفر آن نشان دهنده صحت 100 درصد است و هر قدر مقدار آن از صفر فاصله داشته باشد حاکی از کم شدن صحت مدل است. معیار ارزیابی MBE بیان‌گر میانگین انحراف است. این معیار علاوه بر دارا بودن علامت مثبت (بیش برآوردی مدل) و یا منفی (کم برآوردی مدل) مقدار انحراف از مقادیر مشاهده شده را نیز نشان می‌دهد. MBE برابر صفر نشان می‌دهد که برآورد مدل خوب بوده و در آن هیچ گونه انحرافی وجود ندارد. معمولاً هر قدر مقدار این دو معیار و همچنین ریشه دوم میانگین مربعات خطا (RMSE) کم‌تر باشد صحت روش بیش‌تر است. از نظر تئوری هرگاه این دو معیار برابر صفر شوند نمایان‌گر این است که مقدار تخمین زده شده یک کمیت دقیقا برابر مقدار واقعی آن است (Mahdian, 2006). در این تحقیق از نرم افزارهای +GS برای ترسیم نیم‌تغییرنمای متغیرهای بارش و نرم افزار ArcGIS نسخه 10 برای تهیه لایه‌های بارش استفاده شد.

نتایج و بحث

توصیف آماری داده‌ها

قبل از انجام محاسبات زمین‌آماری بررسی‌های متداول آماری از

1- Cross validation

قبیل آزمون نرمال بودن توزیع داده‌ها صورت گرفت. بوسیله آزمون متداول در محیط ArcMap مشخص شد که بارش بهاره از توزیع نرمال تبعیت نمی‌کند. داده‌های این متغیر با روش لگاریتمی نرمال شدند. آمار توصیفی متغیرهای مورد مطالعه در جدول 1 آمده است. همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد مقدار کل بارش سالانه در مناطق مورد مطالعه از 698/85 – 231/91 میلی‌متر در نوسان می‌باشد.

جدول 1- آمار توصیفی متغیرهای بارش (برحسب میلی‌متر)

Table 1- Descriptive statistics of variables precipitation (mm)

متغیر Variable	میانگین Average	کمینه Minimum	بیشینه Maximum	میانه Median	چولگی Skewness	کشیدگی Kurtosis	ضریب تغییرات C.V (%)
بارش سالانه Annual rainfall	459.57	231.91	698.85	456.28	0.21	2.40	19.57
بارش پاییزه Autumn rainfall	155.37	62.43	245.49	158.8	-0.08	2.06	14.05
بارش بهاره Spring rainfall	108.78	48.62	199.77	98.45	0.57	2.25	39.11
بارش بهاره (با تبدیل لگاریتمی) Spring rainfall (Log Transformation)	4.62	3.88	5.29	4.58	0.07	2.0	0.35
بارش آبان ماه November rainfall	51.55	17.63	80.63	52.79	-0.03	1.98	15. 8
بارش اردیبهشت ماه May rainfall	41.0	12.73	84.33	38.10	0.57	2.37	17.97

برآورد بارش سالانه

برای بررسی وجود یا عدم وجود وابستگی مکانی بارش سالانه در محدوده اراضی کشاورزی شهرستان‌های آق‌قلا، کلاله و گنبدکاووس پس از برازش چندین مدل نیم‌تغییرنما، بر پایه آماره مجموع مربعات باقی‌مانده (RSS)، مدل نمایی به‌عنوان مناسب‌ترین مدل برگزیده شد (شکل3). دلیل این انتخاب داشتن مجموع مربعات باقی‌مانده (RSS) کم‌تر، ضریب تبیین (R^2) بیش‌تر و نسبت اثر قطعه‌ای به سقف (C/(Co+C نزدیک به یک بیش‌تر نسبت به سایر مدل‌ها بود. پارامترهای این مدل در جدول 2 آمده است. این مدل با نسبت اثر قطعه‌ای به سقف 0/98 از ساختار مکانی بالایی برخوردار است. به‌نظر می‌رسد که روش مناسب زمین‌آماری در برآورد یک متغیر، به نوع متغیر و عوامل منطقه‌ای مؤثر بر آن بستگی دارد و نمی‌توان روش منتخب در یک منطقه را به سایر مناطق تعمیم داد (Delbari et al., 2004). نتایج نشان داد که در بین روش‌های مختلف میان‌یابی، روش تابع پایه شعاعی بهترین الگو را برای تخمین بارش سالانه در محدوده اراضی کشاورزی شهرستان‌های آق‌قلا، کلاله و گنبدکاووس ارائه می‌دهد. از مدل‌های مختلف روش تابع پایه شعاعی، مدل چندربعی کم‌ترین خطا و بالاترین صحت را داشت (RMSE= 55/83). بعد از روش تابع پایه شعاعی، مدل توان3 در روش وزن‌دهی فاصله معکوس در مکان بعدی قرار گرفت. از بین 9 روش- مدل مورد استفاده در این مطالعه، روش وزن‌دهی فاصله معکوس مدل توان 1 بالاترین خطا و کم‌ترین صحت را نشان داد و نامناسب‌ترین روش شناخته شد (جدول 3). با توجه به اینکه عوامل اقلیمی تأثیر بسزایی بر رشد محصولات زراعی دارند، بارش سالانه مهم‌ترین متغیر آب و هوایی در کشت گندم دیم محسوب می‌شود (Rstegar, 1992). به‌طور کلی حداقل مقدار بارش برای کشت گندم دیم، حدود 250 تا 300 میلی‌متر گزارش شده است (Behnia, 1997). در زراعت دیم علاوه بر مجموع بارندگی سالانه، متغیر دیگری که از اهمیت بسزایی برخوردار می‌باشد، توزیع بارش در طول دوره رشد است. وجود رطوبت کافی در مرحله سبزینگی برای رشد و استقرار گیاه بسیار ضروری به نظر می‌رسد (Mehraban et al., 2005).

توزیع جغرافیایی بارش سالانه در شکل 4 نشان می‌دهد، بارش سالانه از سمت شمال به جنوب روند افزایشی دارد؛ بطوری‌که در شهرستان کلاله حداکثر میزان بارش سالانه مشاهده شد و در این منطقه تولید محصولات دیم از قبیل گندم و جو دیم با توجه به بارندگی سالانه بسیار مناسب می‌باشد و احتمال برآورده شدن نیاز

رطوبتی گندم و جو دیم به صددرصد ممکن می‌رسد. اما در بخش‌های شمالی شهرستان گنبدکاووس میزان بارش سالانه اندک می‌باشد که می‌تواند محدودیتی را برای تولید اقتصادی گندم و جو دیم ایجاد کند. هم‌چنین میزان بارش سالانه در بخش‌های مرکزی شهرستان‌های آق‌قلا و گنبدکاووس، در حد نسبتاً پایین میزان بارش برای تولید اقتصادی گندم دیم محسوب می‌شود. عساکره و مازینی (Asakareh & Mazini, 2010) در تحقیقی بیان داشتند که میانگین بارش سالانه در کل استان گلستان از شمال به جنوب افزایش پیدا می‌کند که کم‌ترین میزان بارندگی در نواحی شمالی و بیش‌ترین میزان در نواحی جنوبی استان می‌باشد و نقش ارتفاع در میزان بارندگی بیش از طول و عرض جغرافیایی است. در مطالعه‌ای که توسط مساعدی و کاهه (Mosaedi & Kahe, 2008) انجام گرفت، نشان داد که عملکرد گندم در استان گلستان (در طی20 سال) دارای روند می‌باشد، در حالی‌که در مورد جو نمی‌توان از وجود یک روند در عملکرد بحث نمود. هم‌چنین بارندگی‌های هر ماه و یا افزایش یا کاهش بارندگی سالیانه، عملکرد جو (به خصوص جو دیم) را به شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد ولی تأثیرپذیری گندم از بارندگی‌های هر ماه و یا نوسانات سالیانه بارندگی بسیار کم‌تر است. نصراللهی و همکاران (Nasrollahi et al., 2015) در امکان‌سنجی کشت یونجه در شهرستان آق‌قلا با استفاده از GIS، متغیرهای هواشناسی از جمله بارش و دیگر متغیرهای توپوگرافی و خاک را به کار گرفتند. نتایج مطالعه آنها نشان داد که مقدار بارش بسیار اندک و معادل 200 – 150 میلی‌متر در سال، منجر به قرارگیری حدود 30 درصد از اراضی شمال‌غربی، شرق و جنوب شهرستان، در پهنه‌های نیمه‌مستعد و غیرمستعد جهت کشت یونجه شده است.

برآورد بارش پاییزه

نتایج حاصل از ارزیابی روش‌های مختلف درون‌یابی نشان داد که روش کریجینگ بهترین الگو را برای تخمین بارش پاییزه در محدوده اراضی کشاورزی شهرستان‌های آق‌قلا، کلاله و گنبدکاووس ارائه می‌دهد. از مدل‌های مختلف کریجینگ مدل کروی کم‌ترین خطا و انحراف (24/41) و بالاترین صحت را داشت (جدول 4). هم‌چنین روش وزن‌دهی فاصله معکوس توان 1 با داشتن بیش‌ترین خطا، به عنوان نامناسب‌ترین الگو شناخته شد (RMSE= 31/94). در این پژوهش برای برازش نیم تغییرنمای بارش پاییزه از مدل کروی استفاده شد (شکل 5). این مدل با نسبت اثر قطعه‌ای به سقف 0/93 از ساختار مکانی قابل قبولی برخوردار می‌باشد (جدول 2). در این برازش دامنه تأثیر 100300 متر بدست آمد که نسبت به سایر متغیرها دامنه تأثیر بزرگ‌تری دارد. دامنه تأثیر بیان‌گر حداکثر فاصله‌ای است که پس از آن ساختار مکانی دیگر وجود نداشته و نیم‌تغییرنما به یک مقدار ثابت می‌رسد. پس از عبور از دامنه تأثیر هیچ‌گونه ارتباط مکانی بین نمونه‌ها وجود نداشته و نمونه‌ها مستقل از یکدیگر هستند.

جدول 2- خصوصیات نیم تغییرنمای متغیرهای موردمطالعه

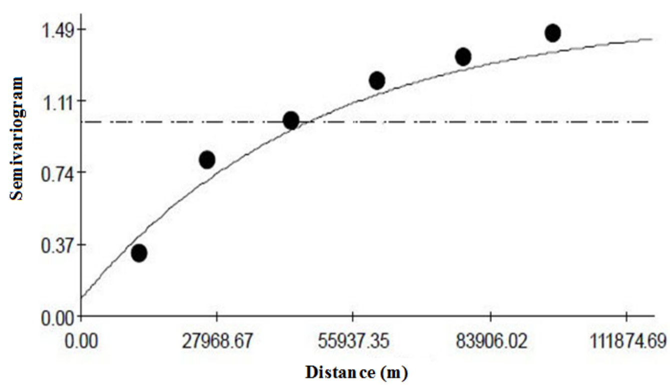
Table 2- The semivariogram parameters of studied variables

متغیر بارش Variable rainfall	مدل برازش شده Model	اثر قطعه‌ای Nugget Effect	سقف Sill	دامنه تاثیر (متر) Range of Influence (m)	نسبت اثر قطعه‌ای به سقف Proportion C/(Co+C)	مجموع مربعات باقیمانده RSS	ضریب تبیین (R^2)
سالانه Annual	نمایی Exponential	0.025	1.452	39300	0.98	0.07	0.91
پاییزه Autumn	کروی Spherical	0.096	1.382	100300	0.93	0.08	0.93
بهاره Spring	کروی Spherical	0.0007	1.123	43900	0.99	0.04	0.93
آبان ماه November	کروی Spherical	0.101	1.321	92900	0.92	0.01	0.98
اردیبهشت ماه May	کروی Spherical	0.003	0.977	36000	1	0.01	0.96

جدول 3- نتایج ارزیابی روش‌های زمین آماری و کلاسیک در تخمین بارش سالانه در اراضی کشاورزی شهرستان‌های آق‌قلا، کلاله و گنبدکاووس
Table 3- The results of geostatistical and classic methods to estimation of annual rainfall in agricultural lands of Aq-Qala, Kalale and Gonbad Kavous townships.

روش Method	مدل Model	MAE	MBE	RMSE	رتبه Rank
کریجینگ معمولی Ordinary kriging	کروی Spherical	42.88	5.17	57.31	2
	نمایی Exponential	44.45	6.14	58.77	3
	گوسی Gaussian	49.07	7.68	69.33	7
توابع پایه شعاعی Radial basis functions	چندربعی Mutiquadric	41.57	5.41	55.83	1
	چندربعی معکوس Inverse Mutiquadric	49.06	5.91	62.43	5
	نواری کم ضخامت Thin Plate Spline	48.17	8.62	70.44	8
وزن دهی فاصله معکوس Inverse distance weighting	توان 1 Power 1	59.25	6.52	72.17	9
	توان 2 Power 2	49.61	7.66	61.03	4
	توان 3 Power 3	44.16	8.49	65.23	6

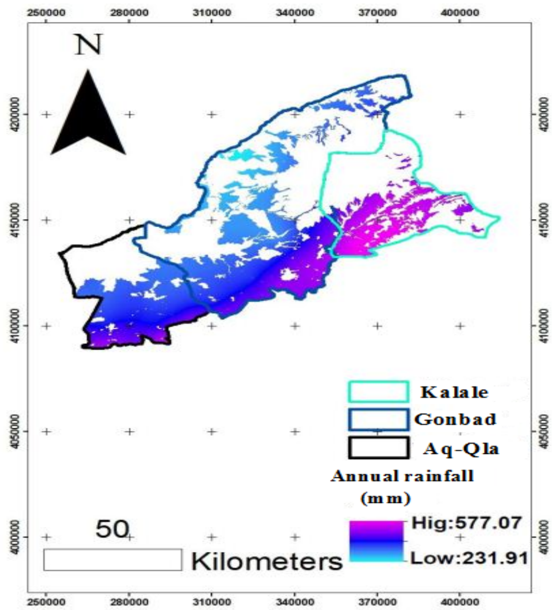
Mean Absolute Error (MAE): میانگین مطلق خطا، Mean Bias Error (MBE): میانگین انحراف خطا و RMSE Root Mean Square Error (RMSE): خطای برآورد.



شکل 3- نیم‌تغییر نمای تجربی و مدل برازش داده شده به آن برای بارش سالانه
Fig. 3- Experimental semivariogram and the fitted model for annual rainfall

نقشه بارش پاییزه در شکل 6 نشان داده شده است. نتایج پهنه‌بندی توزیع جغرافیایی بارش پاییزه نشان داد که کم‌ترین بارش پاییزه مربوط به بخش‌های شمالی شهرستان گنبدکاووس می‌باشد که با بارش 70/31 میلی‌متر از نظر توصیف قابلیت، در گروه نامطلوب قرار می‌گیرد و در بخش‌های جنوبی شهرستان‌های آق‌قلا، گنبدکاووس و بخصوص کلاله بیش‌ترین میزان بارش پاییزه مشاهده شد که با میزان بارش 72/ 218 میلی‌متر از نظر توصیف قابلیت، در گروه بسیار مطلوب قرار می‌گیرد. در شرایط مطلوب گندم دیم تا اواخر پاییز (قبل از شروع یخبندان) باید سه تا چهار پنجه زده باشد تا بتواند سرمای زیر صفر را به خوبی سپری کند. به عبارت دیگر، مراحل جوانه‌زنی و پنجه‌زنی در فصل پاییز باید صورت گیرد. بذر گندم برای جوانه‌زدن به طور عادی لازم است که حدود 50-55 درصد از وزن کل بذر آب

جذب نماید (Karimi, 1992) و این میزان آب باید از طریق بـارش تأمین گردد.



شکل 4- نقشه بارش سالانه با روش توابع پایه شعاعی(بر اساس سیستم مختصات UTM)

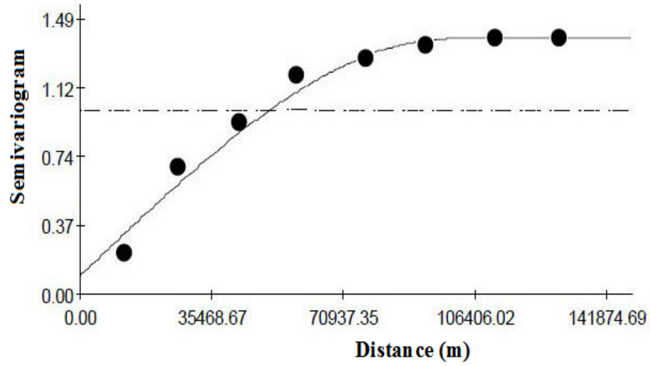
Fig. 4- Annual rainfall map with Radial basis function (based on the UTM cordinate system)

جدول 4- نتایج ارزیابی روش‌های زمین‌آماری در تخمین بارش پاییزه در اراضی کشاورزی شهرستان‌های آق‌قلا، کلاله و گنبدکاووس

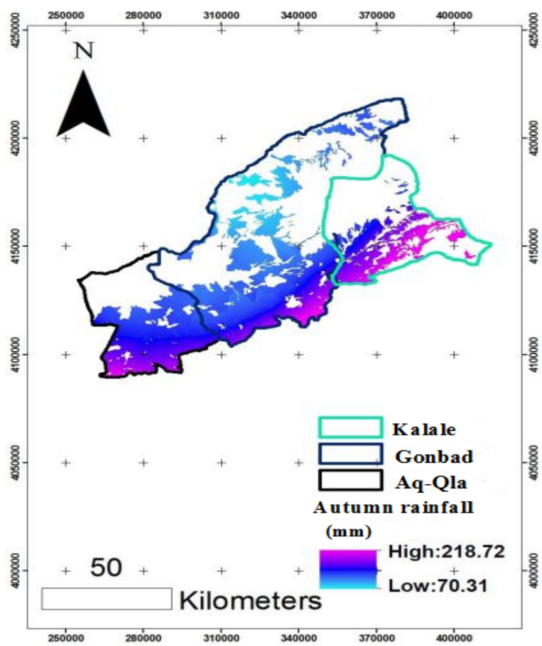
Table 4- The results of geostatistical and classic methods to estimation of autumn rainfall in agricultural lands of Aq-Qala, Kalale and Gonbad Kavous townships

روش Method	مدل Model	MAE	MBE	RMSE	رتبه Rank
کریجینگ معمولی Ordinary kriging	کروی Spherical	17.92	1.57	24.41	1
	نمایی Exponential	20.23	1.89	27.31	4
	گوسی Gaussian	19.11	1.81	25.74	3
توابع پایه شعاعی Radial basis functions	چندربعی Mutiquadric	18.69	1.36	25.72	2
	چندربعی معکوس Inverse Mutiquadric	22.54	2.37	30.59	8
	نواری کم ضخامت Thin Plate Spline	20.50	1.56	29.36	6
وزن‌دهی فاصله معکوس Inverse distance weighting	توان 1 Power 1	24.32	2.93	31.94	9
	توان 2 Power 2	22.34	3.24	29.65	7
	توان 3 Power 3	21.05	3.40	28.16	5

Mean Absolute Error (MAE): میانگین مطلق خطا، Mean Bias Error (MBE): میانگین انحراف خطا و RMSE Root Mean Square Error (RMSE): خطای برآورد.



شکل 5- نیم‌تغییر نمای تجربی و مدل برازش داده شده به آن برای بارش پاییزه
Fig. 5- Experimental semivariogram and the fitted model for autumn rainfall



شکل 6- نقشه بارش پاییزه با روش کریجینگ- مدل کروی (بر اساس سیستم مختصات UTM)
Fig. 6- Autumn rainfall map with kriging-spherical model (based on the UTM cordinate system)

زراعت دیم در مقابل تغییرات آب و هوایی آسیب‌پذیر بوده و توزیع نامناسب بارش در طی سال و همین‌طور نوسان در مقدار بارش، عمدتاً از عوامل اصلی ناکارآمدی کشت دیم در برخی سال‌هاست، به علاوه گزارش شده است که مقدار و زمان بارش پاییزه از جمله عوامل بسیار مهم در زراعت دیم به شمار می‌رود (Azizi, 2000).

برآورد بارش بهاره

در این بررسی برای برازش نیم‌تغییرنمای بارش بهاره از مدل کروی استفاده شد (شکل 7). مدل کروی دارای مجموع مربعات باقیمانده (RSS= 0/04) کم‌تر، ضریب تبیین (R^2) بیش‌تر (0/93) و نسبت اثر قطعه‌ای به سقف C/(Co+C) نزدیک به یک بیش‌تر (0/99) نسبت به سایر مدل‌ها بود و به همین علت به عنوان مناسب‌ترین مدل نیم‌تغییرنما برگزیده شد (جدول 2). در حالت مطلوب باید مقدار اثر قطعه‌ای صفر باشد اما در واقعیت نیم‌تغییرنماهای تجربی مقادیر بالاتر از صفر را نشان می‌دهند که این به دلیل ظهور جزء تصادفی متغیر می‌باشد. اثرقطعه‌ای به علت وجود تغییرات در فواصل

نمونه‌برداری و یا به دلیل خطای نمونه‌برداری و اندازه‌گیری بروز می‌کند (15). جدول 2 نشان می‌دهد که این مدل با نسبت اثر قطعه‌ای به سقف 0/99 دارای ساختار مکانی قوی می‌باشد. نتایج نشان داد که در بین روش‌های مختلف میان‌یابی، روش تابع پایه شعاعی بهترین الگو را برای تخمین بارش بهاره در محدوده اراضی کشاورزی شهرستان‌های آق‌قلا، کلاله و گنبدکاووس ارائه می‌دهد. از مدل‌های مختلف روش تابع پایه شعاعی مدل چندربعی کم‌ترین خطا و بالاترین صحت را داشت (RMSE= 18/79). از بین 9 روش- مدل مورد استفاده در این مطالعه، روش وزن‌دهی فاصله معکوس مدل توان 1 بالاترین خطا و کم‌ترین صحت را نشان داد و نامناسب‌ترین روش شناخته شد (جدول 5).

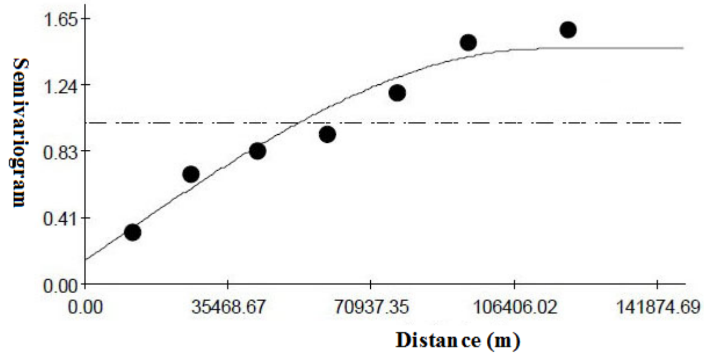
میزان بارش بهاره در دامنه بین 185/19 در بیش‌ترین مقدار تا 49/76 میلی متر در کم‌ترین مقدار مشاهده شد که براساس مطالعات گیوی (Givi, 1997)، بارش مناسب بهاره (مجموع بارش مرحله گلدهی و دانه‌دهی)، 115 الی 170 میلی‌متر گزارش شده است، از این رو در مناطق مورد مطالعه، اراضی وجود دارند که میزان بارش بهاره در آن‌ها کافی نمی‌باشد که این اراضی بیش‌تر در نواحی شمالی شهرستان‌های آق‌قلا و گنبدکاووس مشاهده شدند. در این مناطق کمبود بارش بهاره جبران‌ناپذیر بوده و باعث بیش‌ترین خسارت در مرحله گلدهی و دانه‌دهی محصولات در زراعت دیم می‌گردد. بازگیر (Bazgir, 2000) بدون اشاره به مقدار بارش، 37 تا 40 درصد نسبت بارش بهاره به بارش سالیانه را به عنوان بارش مناسب بهاره تعیین کرده است. همچنین گزارش شده است که شرایط اقلیمی نامناسب در فصل بهار که همراه با سنبله‌دهی گندم دیم می‌باشد باعث عقیم شدن گلچه‌ها می‌شود (Kamali, 1997). بر اساس نتایج این مطالعه با بررسی نقشه بارش بهاره، می‌توان دریافت که بخش‌های شمالی شهرستان‌های آق‌قلا و گنبدکاووس از نظر بارش بهاره دارای محدودیت بوده و در بخش‌های مرکزی این شهرستان‌ها مقدار بارش متوسط است. با حرکت به سمت شرق استان بر سهم بارش‌های بهاری افزوده می‌شود به طوری‌که در شهرستان کلاله میزان بارش بهاره مناسب بوده که شرایط مطلوبی برای کشت انواع محصولات بخصوص محصولات دیم فراهم می سازد (شکل 8).

جدول 5- نتایج ارزیابی روش‌های زمین‌آماری در تخمین بارش بهاره در اراضی کشاورزی شهرستان‌های آق‌قلا، کلاله و گنبدکاووس

Table 5- The results of geostatistical and classic methods to estimation of spring rainfall in agricultural lands of Aq-Qala, Kalale and Gonbad Kavous townships

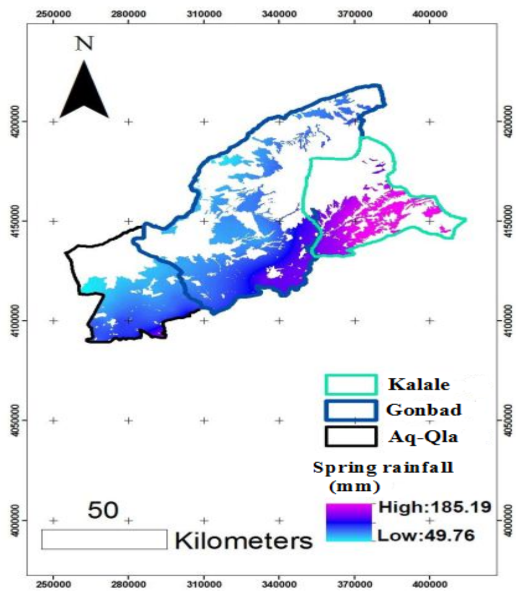
روش Method	مدل Model	MAE	MBE	RMSE	رتبه Rank
کریجینگ معمولی Ordinary kriging	کروی Spherical	13.31	2.06	18.86	2
	نمایی Exponential	14.05	2.45	19.52	4
	گوسی Gaussian	13.79	1.61	19.3	8
توابع پایه شعاعی Radial basis functions	چندربعی Mutiquadric	13.40	1.42	18.79	1
	چندربعی معکوس Inverse Mutiquadric	15.30	1.04	21.33	8
	نواری کم ضخامت Thin Plate Spline	14.76	1.75	21.11	7
وزن دهی فاصله معکوس Inverse distance weighting	توان 1 Power 1	18.33	1.05	23.9	9
	توان 2 Power 2	15.32	1.95	21.05	6
	توان 3 Power 3	14.22	2.33	19.97	5

Mean Absolute Error (MAE): میانگین مطلق خطا، Mean Bias Error (MBE): میانگین انحراف خطا و RMSE Root Mean Square Error (RMSE): خطای برآورد.



شکل 7- نیم‌تغییرنمای تجربی و مدل برازش داده شده به آن برای بارش بهاره

Fig. 7- Experimental semivariogram and the fitted model for spring rainfall



شکل 8- نقشه بارش بهاره با روش توابع پایه شعاعی (بر اساس سیستم مختصات UTM)

Fig. 8- Spring rainfall map with radial basis function (based on the UTM cordinate system)

در تایید این نتایج، گزارش شده کـه در ایـران تغییـرات میـزان بارش‌های بهاره به مراتب بیش‌تر از بـارش‌هـای پـاییزه بـوده و در نتیجه درصد وقوع بارش در میانگین دراز مدت در بهار کم‌تر از پاییز و زمستان می‌باشد (Kazemi et al., 2012; Movahed Danesh, 1996).

برآورد بارش آبان ماه

نتایج حاصل از ارزیابی روش‌های مختلف درون‌یابی نشـان داد که روش توابع پایه شعاعی بهترین الگو را برای تخمین بارش آبـان ماه در محدوده اراضی کشاورزی شهرسـتان‌هـای آق‌قـلا، کلالـه و گنبدکاووس ارائه می‌دهد. از مدل‌های مختلف روش توابع پایه شعاعی مدل چندربعی کم‌ترین خطا و انحراف (10/24) و بالاترین صحت را داشت (جدول 6). همچنین روش توابع پایه شعاعی مدل نواری کـم ضخامت با داشتن بیش‌ترین خطا، به عنـوان نامناسـب‌تـرین الگـو شناخته شد (RMSE= 11/22). در این پژوهش برای بـرازش نـیم تغییرنمای بارش آبان ماه از مدل کروی استفاده شد (شکل 9). این مدل با نسبت اثر قطعه‌ای به سـقف 0/92 از سـاختار مکـانی قابـل قبولی برخوردار است (جدول 2). نقشه بارش ماه آبان در شـکل 10 نشان داده شده است. از این نقشه می‌توان در مدیریت زراعی تولیـد محصولات کشاورزی بخصوص محصولات دیم استفاده کرد.

نتایج پهنه‌بندی توزیع جغرافیایی بارش آبان ماه نشان داد که در بخش‌های شمالی شهرستان گنبدکاووس کم‌ترین و در بخش‌های جنوبی شهرستان‌های آق‌قلا، گنبدکاووس و بخصوص کلاله بیش‌ترین میزان بارش آبان ماه را دارا هستند. در اراضی کشاورزی شهرستان‌های آق‌قلا، کلاله و گنبدکاووس مقدار بارش ماه آبان در دامنه بین 68/14 در بیش‌ترین مقدار تا 29/78 میلی‌متر در کم‌ترین مقدار می‌باشد. کریمی (Karimi, 1992) گزارش داد که ماه آبان به علت مصادف بودن با تاریخ کاشت گندم دیم از حساسیت بسیار بالایی برخوردار است و بارندگی آن نیز از سالی به سال دیگر بسیار متغیر است. ضریب تغییرات بارندگی آبان ماه 80 می‌باشد که بیش‌ترین تغییرات را در بین ماه‌های سال در کشور داراست. در تحقیق مساعدی و کاهه (Mosaedi & Kahe, 2008) مشخص شد که بارندگی ماه‌های خرداد، آبان و آذر برای گندم و ماه‌های اولیه و آخر دوره کشت برای جو بیش‌ترین اثر را بر روی عملکرد دارند. در زراعت دیم تاریخ کاشت همان تاریخ شروع اولین بارندگی مؤثر پاییزی است که در استان گلستان شروع از اواسط مهر ماه تا اواسط آذر ماه می‌باشد. به همین دلیل مقدار بارندگی بخصوص در آبان ماه و بررسی روند توزیع آن، در کشت محصولات دیم در منطقه از اهمیت بسزایی برخوردار می‌باشد.

برآورد بارش اردیبهشت ماه

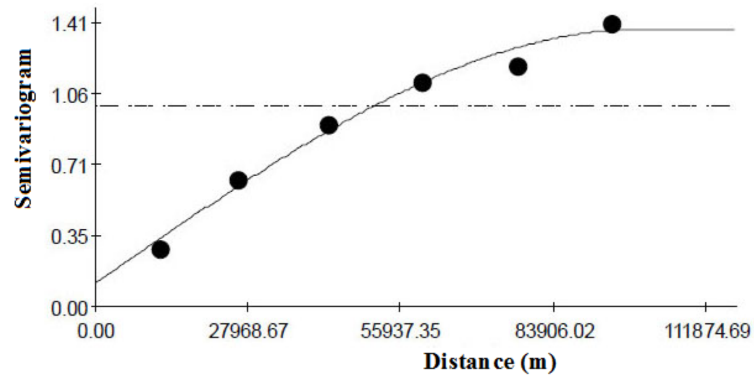
نتایج نشان داد که در بین 9 روش- مدل مختلف درون‌یابی، روش کریجینگ بهترین الگو را برای تخمین بارش اردیبهشت ماه در محدوده اراضی کشاورزی شهرستان‌های آق‌قلا، کلاله و گنبدکاووس ارائه می‌دهد. از مدل‌های مختلف روش کریجینگ مدل کروی کم‌ترین خطا و بالاترین صحت را داشت (10/62). مدل گوسی از روش کریجینگ در مکان بعدی قرار گرفت (جدول 7). از بین 9 روش- مدل مورد استفاده در این مطالعه، روش توابع پایه شعاعی مدل نواری کم ضخامت بالاترین خطا و کم‌ترین صحت را نشان داد و نامناسب‌ترین روش شناخته شد (RMSE= 13/19). در این پژوهش برای برازش نیم‌تغییرنمای بارش اردیبهشت ماه از مدل کروی استفاده گردید (شکل 11). این مدل با نسبت اثرقطعه‌ای به سقف 1 از ساختار مکانی بسیار بالایی برخوردار می‌باشد.

جدول 6- نتایج ارزیابی روش‌های زمین‌آماری در تخمین بارش آبان ماه در اراضی کشاورزی شهرستان‌های آق‌قلا، کلاله و گنبدکاووس

Table 6- The results of geostatistical and classic methods to estimation of November rainfall in agricultural lands of Aq-Qala, Kalale and Gonbad Kavous townships

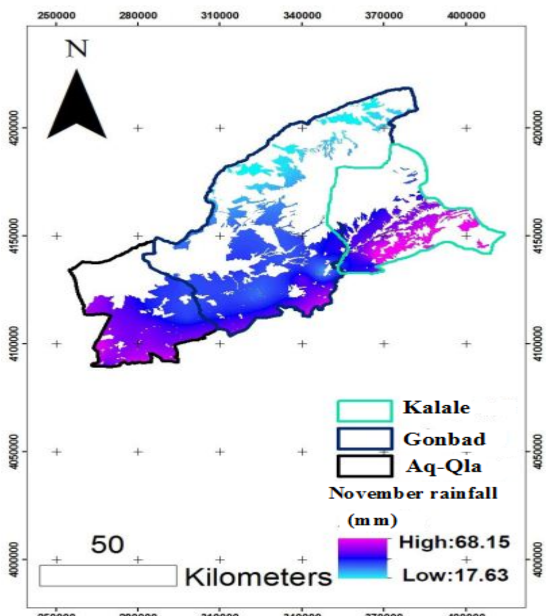
روش Method	مدل Model	MAE	MBE	RMSE	رتبه Rank
کریجینگ معمولی Ordinary kriging	کروی Spherical	7.53	0.8	10.39	2
	نمایی Exponential	7.72	0.82	10.55	4
	گوسی Gaussian	7.57	0.75	10.43	3
توابع پایه شعاعی Radial basis functions	چندربعی Mutiquadric	7.34	0.63	10.24	1
	چندربعی معکوس Inverse Mutiquadric	8.12	1.01	10.78	5
	نواری کم ضخامت Thin Plate Spline	7.67	0.77	11.22	9
وزن دهی فاصله معکوس Inverse distance weighting	توان 1 Power 1	8.48	1.21	11.02	8
	توان 2 Power 2	8.03	1.35	10.79	6
	توان 3 Power 3	8.18	1.44	10.92	7

Mean Absolute Error (MAE): میانگین مطلق خطا، Mean Bias Error (MBE): میانگین انحراف خطا و RMSE Root Mean Square Error (RMSE): خطای برآورد.



شکل 9- نیم‌تغییرنمای تجربی و مدل برازش داده شده برای بارش آبان ماه

Fig. 9- Experimental semivariogram and the fitted model for November rainfall



شکل 10- نقشه بارش ماه آبان با روش توابع پایه شعاعی (بر اساس سیستم مختصات UTM)

Fig. 10- November rainfall map with radial basis function (based on the UTM cordinate system)

با بررسی شکل 12می‌توان دریافت که در شهرستان کلاله و در قسمتی از جنوب شهرستان گنبدکاووس، میزان بارش اردیبهشت ماه مناسب بوده و محدودیتی از نظر کشت محصولات دیم وجود ندارد اما برخی از مناطق شمالی شهرستان‌های آق‌قلا و گنبدکاووس از نظر بارش اردیبهشت ماه دارای محدودیت می‌باشند. گزارش شده است که عامل بارندگی بیش از درجه حرارت بر عملکرد گندم دیم موثر است و افزایش بارندگی در اواخر دوره رشد و نمو اثر بیش‌تری نسبت به بارندگی اوایل فصل رشد دارد، به طوری که میزان بارندگی های فروردین و اردیبهشت ماه بیش از نیمی از عملکرد محصول گندم را توجیه می‌نماید. ماه اردیبهشت به علت مصادف بودن با مرحله پرشدن دانه گندم دیم، از حساسیت بسیار بالایی برخوردار است. کاهش بارندگی در این ماه قابل جبران نبوده و معمولاً زراعت دیم از نوسانات اقلیمی این ماه بیش‌ترین خسارت را می بینند (Ashraf Taliei & Bahrami, 2003). در تائید این نتایج، خوش اخلاق و همکاران (Khosh Akhlagh et al., 2010) ضریب تغییرات بارندگی اردیبهشت ماه در منطقه مرودشت استان فارس، 87 بدست آورند که بیش‌ترین تغییرات را در بین ماه‌های سال دارا بود.

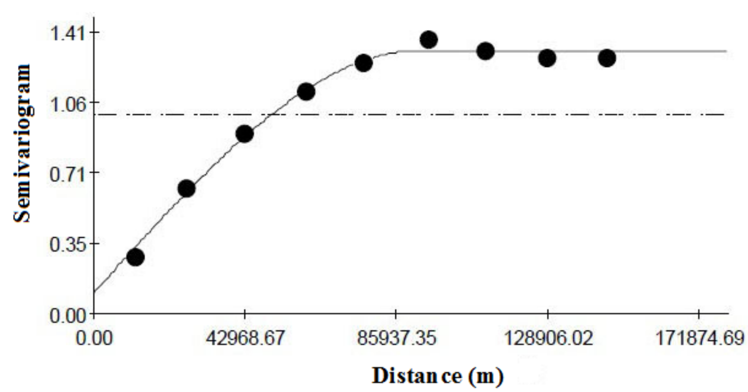
نتیجه‌گیری

در این بررسی روش کریجینگ- مدل کروی بهترین تخمین‌گر برای بارش پاییزه و اردیبهشت ماه و هم‌چنین توابع پایه شعاعی- مدل چندربعی بهترین تخمین‌گر برای بارش سالانه، بهاره و آبان ماه در اراضی کشاورزی شهرستان‌های آق‌قلا، کلاله و گنبدکاووس شناخته شد. در بین 9 روش- مدل میان‌یابی، روش وزن‌دهی فاصله معکوس توان 1 و توابع پایه شعاعی- مدل نواری کم ضخامت نامناسب‌ترین تخمین را جهت میان‌یابی انواع بارش نشان داد. این دو روش دارای بیش‌ترین میزان خطا و انحراف و کم‌ترین صحت برای تخمین متغیرهای بارش بودند.

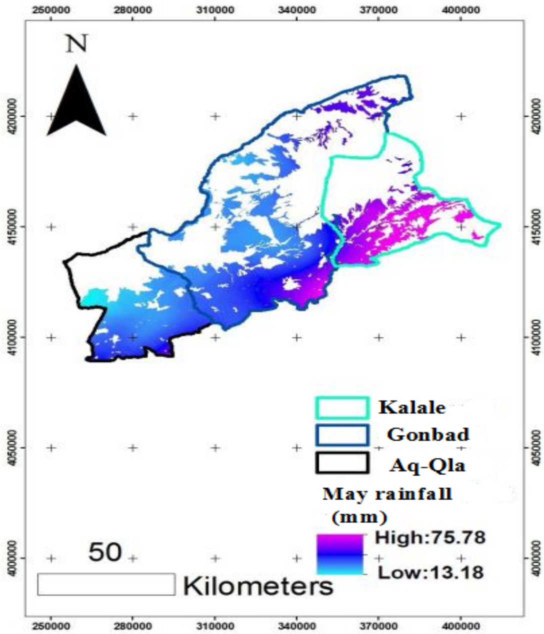
جدول 7- نتایج ارزیابی روش‌های زمین‌آماری در تخمین بارش اردیبهشت ماه در اراضی کشاورزی شهرستان‌های آق قلا، کلاله و گنبدکاووس
Table 7- The results of geostatistical and classic methods to estimation of May rainfall in agricultural lands of Aq-Qala, Kalale and Gonbad Kavous townships

روش Method	مدل Model	MAE	MBE	RMSE	رتبه Rank
کریجینگ معمولی Ordinary kriging	کروی Spherical	8.22	0.84	10.62	1
	نمایی Exponential	8.60	0.70	11.11	4
	گوسی Gaussian	8.40	0.67	10.86	2
توابع پایه شعاعی Radial basis functions	چندربعی Mutiquadric	8.56	0.81	11.08	3
	چندربعی معکوس Inverse Mutiquadric	9.75	0.8	12.29	7
	نواری کم ضخامت Thin Plate Spline	10.25	0.33	13.19	9
وزن دهی فاصله معکوس Inverse distance weighting	توان 1 Power 1	10.23	0.98	12.92	8
	توان 2 Power 2	9.50	1.48	12.15	6
	توان 3 Power 3	9.24	1.86	11.95	5

Mean Absolute Error (MAE): میانگین مطلق خطا، Mean Bias Error (MBE): میانگین انحراف خطا و RMSE Root Mean Square Error (RMSE): خطای برآورد.



شکل 11- نیم‌تغییرنمای تجربی و مدل برازش داده شده برای بارش اردیبهشت ماه
Fig. 11- Experimental semivariogram and the fitted model for May rainfall



شکل 12- نقشه بارش اردیبهشت ماه با روش کریجینگ- مدل کروی (بر اساس سیستم مختصات UTM)

Fig. 12- May rainfall map with Kriging-spherical model (based on the UTM cordinate system)

به‌طور کلی روش مناسب زمین آماری در برآورد یک متغیر، به نوع متغیر و عوامل منطقه‌ای تأثیرگذار بر آن بستگی دارد و نمی‌توان روش منتخب در یک منطقه را به سایر مناطق تعمیم داد. بررسی‌های مدل برازش یافته متغیرهای بارش نشان داد که برای بارش سالانه مدل نمایی و هم‌چنین برای بارش پاییزه، بهاره، آبان ماه و اردیبهشت ماه مدل کروی مناسب‌ترین مدل نیم‌تغییرنما می‌باشد. نتایج توزیع مکانی بارش در اراضی کشاورزی شهرستان‌های آق‌قلا، کلاله و گنبدکاوس نشان داد که در این شهرستان‌ها بخصوص در بخش‌های جنوبی، توزیع و فراوانی انواع متغیرهای بارش بسیار مطلوب بوده و دارای بالاترین میزان می‌باشند. در این مناطق از نظر انواع بارش محدودیتی وجود ندارد و شرایط برای کشت انواع محصولات دیم بسیار مناسب می‌باشد. اما از سمت جنوب به طرف شمال مناطق مورد مطالعه، از میزان همه انواع بارش کاسته شده و محدودیت‌هایی مشاهده می‌شود.

در بین شهرستان‌های آق‌قلا، کلاله و گنبدکاووس، شهرستان کلاله بهترین و بیش‌ترین توزیع مکانی متغیرهای بارش را دارا بود. در مجموع در این سه شهرستان یک روند منظم و پایداری در توزیع مکانی بارش مشاهده شد. از نتایج این تحقیق می‌توان در تخمین دقیق‌تر مکانی مشخصه‌های بارش، در مدیریت منابع آب، آشکارسازی وضعیت اقلیمی کشاورزی، مدیریت زراعی کارآمدتر و هم‌چنین آگاهی از میزان تغییرات بارش که در برنامه‌ریزی و توسعه منطقه‌ای نقش بسزایی دارد، استفاده کرد. پیشنهاد می‌گردد، علاوه بر ارزیابی انواع متغیرهای بارش، به جهت تأثیرگذاری متغیرهای دما، انواع آن بخصوص در مراحل حساس رشد و نمو محصولات دیم مانند جوانه‌زنی، پنجه‌زنی، سنبله‌دهی و پر شدن دانه در این مناطق مورد ارزیابی قرار گیرد تا مناطق دارای محدودیت دمایی نیز مشخص گردند.

منابع

Agricultural Jihad Organization of Golestan. 2013. Statistics and Information Office. Available at Web site.http:www.jago.ir. (In Persian)

Asakareh, H., and Mazini, F. 2010. The analysis of the probability of annual precipitation in Golestan province. Journal of Research Iran Water Resource 6: 1. 51-55. (In Persian with English Summary)

Ashraf Taliei, A., and Bahrami, N. 2003. Evaluation of the temperature and rainfall effect on rainfed wheat cultivation in Kermanshah. Journal of Soil Water Science 17 (1): 106-133. (In Persian with English Summary)

Azizi, G. 2000. Estimation of effective precipitation on the cultivation of rainfed wheat, case study of Khorram Abad region. Geographical Research 33: 115-123. (In Persian with English Summary)

Buytaert, W., Celleri, R., Willems, P., de Bievre, B., and Wyseure, G. 2006. Spatial and temporal rainfall variability in mountainous areas: A case study from the south Ecuadorian Andes. Journal of Hydrology 329: 3-4: 413-421.

Bazgir, S. 2000. Investigation of climate potential for rainfed wheat cultivation (Case study: Kurdistan Province). Thesis of M.Sc., Faculty of Agriculture, University of Tehran, Iran 123 p. (In Persian with English Summary)

Behnia, M.R. 1997. Cereal. Second Edition. University of Tehran Press. 610 p. (In Persian)

Carlson, R.E., and Foley, T.A. 1991. The parameter R^2 in multiquadric interpolation. Computers & Mathematics with Application 21:29-42.

Delbari, M., Khayyat Khalghi, M., and Mahdian, M.H. 2004. Evaluation of geostatistics method for estimation of direction soil hydraulic in dip water areas in Sistan region. Journal of Agricultral Science Iran 35: 1. 1-13. (In Persian with English Summary)

Descroix, L., Nouvelot, J.F., Estrada, J., and Lebal, T. 2001. Complementarily and convergence of rainfall regionalization processes: application to an endoergic basin of Northern Mexico. Revue Des Sciences De L'Eau 14:3. 281-305.

Ghanbar Pour, M.R. 2005. Comparison of methods of spatial analysis in determining the rainfall and temperature in the basin scale (Case study: watershed of Talesh). Journal of Agricultural Science Natural Resource Caspian 3:1. 29-43. (In Persian with English Summary)

Goovaerts, P. 2000. Geostatistical approach for incorporation, elevation into spatial interpolation of rainfall. Journal of Hydrology 228. 113-129.

Givi, J. 1997. Qualitative evaluation of land for agricultural crops. Soil and Water Research Institute Press, Iran. 115 N. (In Persian)

Hasani Pak, A.A. 2007. Geostatistics. University of Tehran Press., Iran. 314 p. (In Persian)

Hargrove, W. 2001. Interpolation of rainfall in Switzerland using a regularized spline with tension, Geographic Information and Spatial Technologies Group, Book Ridge National Laboratory. 122-125.

Kazemi, H., Tahmasebi Sarvestani, Z., Kamkar, B., Shataei, S., and Sadeghi, S. 2012. Evaluation of geostatistical methods for estimating and zoning of macronutrients in agricultural lands on Golestan province. Journal of Soil Water Science 22: 201-218. (In Persian with English Summary)

Khosh Akhlagh, F., Rnajbar, F., Tolabi, S., Maghbal, M., and Massompour Samakoosh, J. 2010. Investigation of drought year of 1998-99 and its effects on water resources and agriculture, case study: Marvdasht town ship. Geography Journal 8 (24): 119-136. (In Persian with English Summary)

Kamali, G., 1997. Agroclimatology study of lands potaitiol for dry farming in west of the country, with emphasis on wheat. Ph.D. Thesis, Islamic Azad University of Science and Research Branch of Tehran, Iran, Iran. 152 p. (In Persian with English Summary)

Karimi, H., 1992. Wheat. University of Tehran Press. 48p. (In Persian)

Kamkar, B., and Mahdavi Damghani, M. 2008. Fundamental of Sustainable Agriculture. Jihad Daneshgahi Press of Mashhad, Iran. 307 p. (In Persian)

Mobaraki, J., Babaee, K., Mohamadi, Y., and Moradian, J. 2010. Accuracy evaluation of spatial interpolation methods to study the spatial distribution of precipitation and drawing isolite of study area in Turpentine Saghez. Applied Research Conference on Water Resources Iran. University of Kermanshah, Iran. May 23-21. 10 p. (In Persian with English Summary)

Mirmosavi, H., Mazidi, A., and Khosravi, Y. 2010. Determination of the best methods of statistics to estimate the rainfall distribution using GIS (Case study: Isfahan province). Journal of Geographical Space 10 (30): 105-120. (In Persian with English Summary)

Marofi, S., Gol-Mohamadi, G., Mohamadi, K., and Zare Abyane, H., 2009. Evaluation geostatistical estimation of the spatial distribution of rainfall in the Hamedan province in GIS. Journal of Soil Water 1 (2): 1-17. (In Persian with English Summary)

Mosaedi, A., and Kahe, M. 2008. The effect of rainfall on yields of wheat and barley in Golestan province. Journal of Agricultural Science Natural Resource. 15(4): 1-14. (In Persian with English Summary)

Mahdizadeh, M., Mahdian, M.H., and Hejam, S. 2006. Performance geostatistical methods in climatic zoning in Oromieh Lake's basin. Journal of Physics of Earth Space 23: 103-116. (In Persian with English Summary)

Mohamadi, J., 2006. Pedometey. Spatial Statistics. Pelk Publication, Iran. 453 p. (In Persian)

Mahdian, M.H. 2006. The use of geostatistics in soil science. Proceedings of the Conference on Soil, Sustainability and Environment, University of Tehran, Iran. 10 p. (In Persian)

Mehraban, A., Ghafari, A.A., Ghanbari Benjar, A., and Jalali, N. 2005. Climatic zoning for dryland winter wheat in Moghan Ardebil using GIS. Journal of Agricultural Knowledge 15: 4. 1-13 (In Persian with English Summary)

Movahed Danesh, A.A. 1996. Determine of suitable areas for rainfed cereal production, according to the monthly rainfall in East Azarbaijan, Western Azarbaijan and Ardabil. Nivar. 32. 1-14. (In Persian with English Summary)

Nasrollahi, N., Kazemi, H., and Kamkar, B. 2015. Feasibility of annual alfafa (*Medicago scutellata* L.) cropping in Aq-Qalla town ship (Golestan province). Journal of Agoecology 7(3): 397-411. (In Persian with English Summary)

Rahmani, M., Jami Al-Ahmadi, M., Shahidi, A., and Hadizadeh Azghandi, M. 2016. Effects of change on length of growth stages and water requirement of wheat (*Triticum aestivum* L.) and barely (*Hordeum vulgar* L.) (Case of study: Birjand plain). Journal of Agroecology 7 (4): 443-460. (In Persian with English Summary)

Rstegar, M.A. 1992. Dryland Farming. Barahmnd Press, Iran. 182p. (In Persian)

Sarmadian, F., and Taati, A. 2015. Agro-ecological zoning of Qazvin area for wheat (*Triticum aestivum* L.) using RS and GIS. Journal of Agroecology 7 (3) 368-380. (In Persian with English Summary)

Shoji, T., and Kitaura, H. 2006. Statistical and geostatistical analysis of rainfall in central Japan. Computer Geoscience 32: 1007-1024.

Tapsoba, D., Fortin, V., Anctil, F., and Hache, M. 2008. Use of the kriging technique with external drift for a map of the water equivalent of snow: application to the Gatineau River Basin. Journal of Civil Engineering 32 (1): 289-297.

Zabihi, A.R., Soleymani, K., Shabani, M., and Abroush, S. 2011. Investigate of the spatial distribution of annual precipitation using geostatistical methods (Case study: Qom province). Research Nature of Geographical Research 78:101-112. (In Persian with English Summary)

Zhang, X., and Srinivasan, R. 2009. GIS-Based spatial precipitation estimation: A comparison of geostatistical approaches. Journal of American Water Resources Association 5 (4): 894- 906.

Journal of Agroecology
Vol. 11, No.2, Summer 2019, p. 579-599

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد 11، شماره 2، تابستان 1398، ص 599-579

Investigation of Effective Precipitation Sufficiency in Rainfed Farming in order to Development of Autumn Cereals Cropping in Agricultural Lands of Aq-Qala, Kalale and Gonbad Kavous Townships (Golestan Province) by Spatial Analysis of GIS

S. Farhadian Azizi[1], H. Kazemi[2*] and A. Soltani[3]
Submitted: 27-12-2016
Accepted: 16-12-2017

Farhadian Azizi, S., Kazemi, H., and Soltani, A. 2019. Investigation of effective precipitation sufficiency in rainfed farming in order to development of autumn cereals cropping in agricultural lands of Aq-Qala, Kalale and Gonbad Kavous townships (Golestan province) by spatial analysis of GIS. Journal of Agroecology. 11 (2): 579-599.

Introduction

Annual climate variation, along with water shortage is an important factor influencing agricultural productivity, especially in rainfed crop production systems. Also, understanding the current relationship between food grain production and rainfall will help in assessing the possible impact of future climate change on the livelihood of smallholder farmers. In Golestan province due to different climates and extended rainfed lands, amount and spatial and temporal distribution of rainfall is very important. In general, the minimum rainfall for dry farming is about 250-300 mm. In addition, distribution of rainfall during the growing period is also noticeable. The enough moisture in vegetation phase is essential for growth and establishment of plant. In this study, spatial analysis of GIS and some methods of classic interpolation and geostatistical methods were used to evaluate spatial and temporal changes of rainfall variables in the agricultural lands of Aq-Qala, Kalale and Gonbad Kavous townships in Golestan province.

Materials and methods

This research was carried out in Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources (GUASRN), during 2015. The studied region was included the agricultural lands of Aq-Qala, Gonbad Kavous and Kalale townships in Golestan province, as three important regions for dry farming production. First, the data of 10 synoptic stations and 77 rain-gauge stations from Golestan province were used. The thematic maps of rainfall variables such as annual, autumn, spring, November and May precipitations were provided using various methods of geostatistical and classic interpolation such as Ordinary Kriging (OK), Inverse Distance Weighting (IDW) and Radial Basis Function (RBF) in GIS (var. 10) media. Before interpolation calculations, common statistical tests were performed on main data. The performance criteria for evaluation were Mean Absolute Error (MAE), Mean Bias Error (MBE), Root Mean Square Error (RMSE) and Cross Validation. In this research, a semivariogram function was used to show the variation of rainfalls with respect to distance.

Results and discussion

The results showed that Kriging-spherical model was the best method to estimate autumn and May precipitations and also, the annual, spring and November precipitations were interpolated by Multi-quadric (RBF) in agricultural lands of Aq-Qala, Kalale and Gonbad Kavous townships. Furthermore, the IDW and Thin Plate Spline (TPS) were introduced as inappropriate methods due to high error in precipitation estimate. The semivariograms analysis indicated that autumn, spring, November and May precipitation variables were the best

---

1, 2 and 3- Graduate MSc in Agroecology, Associate Professor and Professor of Agronomy Department, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources (GUASRN), Gorgan Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: hkazemi@gau.ac.ir)
Doi:10.22067/jag.v11i2.61365

fitted by Spherical models, but annual precipitation was fitted by Exponential model. It was found that some areas in north of Aq-Qala and Gonbad Kavous had the limitation in amounts of spring and May precipitations. The spatial distribution of precipitations showed that annual precipitation was increased from north to south, so that, the maximum annual precipitation was observed in Kalale township. Thus, this township can be a region with high suitable degree for dry farming some autumn crops such as wheat and barley. The lowest autumn rainfall amount was observed in the northern parts of Gonbad Kavous township with 31.37 mm, but the southern parts of the Aq-Qala, Gonbad Kavous and especially Kalale had the highest autumn precipitation amounts.

Conclusion

Result of the spatial distribution of precipitation showed that amounts of precipitation variables were increased from north to south of the studied region. Totally, among the three studied townships, Kalale township had the highest amounts of precipitations and the best spatial distribution of precipitation variables for rainfed farming. Therefore, this township was selected as the high suitable region for dry farming in Golestan province.

Acknowledgements

We are grateful to Agriculture Service Centers of Golestan province and Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources (GUASNR).

Keywords: Geographical information system, Inverse Distance Weighting, Kriging, Rainfall, Semivariograms.